**Dépôt d’électrodes en couches minces par pulvérisation magnétron en régime d'impulsions de haute puissance (HiPIMS) pour la réalisation de micro-supercondensateurs 3D**

***Mots clé :*** *Films minces, Pulvérisation Cathodique, HiPIMS, Micro-Supercondensateurs 3D*

***Contexte***

Les micro-supercondensateurs (MSC) sont des systèmes électrochimiques miniaturisés qui peuvent être utilisés dans l'unité de stockage d'énergie des appareils pour l'Internet des Objets. Afin d'améliorer la densité énergétique de ces électrodes tout en maintenant un encombrement réduit, des électrodes 3D présentant un rapport surface/volume élevé ont été proposées comme solution innovante [1].

Récemment, les nitrures de métaux de transition (TMN) tels que le RuN, VN ou TiN sont apparus comme des matériaux d'électrode prometteurs pour les supercondensateurs électrochimiques. Ces matériaux peuvent être déposés sous la forme de couches minces par pulvérisation magnétron, technique qui, dans sa version standard, n’est toutefois pas appropriée pour le dépôt de films minces conformes sur des structures 3D (micro-piliers, micro-tranchées...).

La pulvérisation magnétron à impulsion de haute puissance (HiPIMS) est un type particulier de pulvérisation où la décharge consiste en un plasma dominé par des ions métalliques (par opposition aux espèces neutres pour la pulvérisation conventionnelle), qui pourrait permettre de réaliser des revêtements conformes sur des structures 3D à fort rapport d'aspect. À l'IMN, le réacteur HiPIMS est équipé de cinq alimentations synchronisées et contrôlées avec une résolution de l'ordre de la microseconde. L’objectif principal de ce type d’alimentation innovante est de favoriser certaines espèces dans la phase plasma (exemple les ions Ti+ au détriment des ions Ar+) avec, in fine, un meilleur contrôle de la structure, de la morphologie et de la composition des couches minces déposées.



Figure 1 : Dépôt de couches minces sur des substrats 3D par pulvérisation DC et par HiPIMS.

***Sujet de thèse***

L'objectif de cette thèse est d'étudier le dépôt de couches minces de titane et de nitrure de titane par HiPIMS. La première partie de la thèse comprendra la caractérisation de la décharge plasma (suivi des paramètres électriques de la décharge, spectrométrie de masse, émission optique résolue en temps) avec comme objectif de mieux comprendre la phase gazeuse et la manière dont on peut utiliser les multiples alimentations du réacteur HiPIMS conçu à l’IMN pour privilégier la création d’ions métalliques de Ti et atteindre un haut degré d'ionisation au sein de la décharge plasma. La seconde partie comprendra l'élaboration de films minces par HiPIMS sur des substrats plans et des substrats microstructurés et leur caractérisation. L’objectif de cette deuxième partie sera de réaliser des dépôts de Ti et TiN conformes sur des microstructures avec des rapports de forme les plus élevés possible. Les films seront caractérisés par de nombreuses techniques présentes à l'IMN telles que la diffraction des rayons X, la microscopie électronique à balayage et en transmission, ou la spectroscopie de photoélectrons X. Enfin, les performances électrochimiques des films déposés sur des substrats microstructurés seront évaluées par voltammétrie cyclique et spectroscopie d’impédance. Une analyse globale des relations paramètres du dépôt/plasma-propriétés des couches minces-performance des dispositifs pourra alors être effectuée en fin de thèse.

***Profil recherché***

Vous possédez (ou êtes sur le point d'obtenir) un Master 2 (M2) ou équivalent avec une formation dans le domaine de la science des matériaux, physique/chimie des matériaux, matériaux en couches minces ou domaines connexes. Le sujet nécessite une large part de travail expérimental associé à la réalisation de matériaux en couches minces et leur caractérisation physico-chimique et fonctionnelle. Nous recherchons un(e) étudiante fortement motivé(e) par le sujet, le travail expérimental et la science des matériaux, apte à travailler avec rigueur et autonomie au sein d’une équipe pluridisciplinaire. Le (La) candidat(e) devra avoir de bonnes aptitudes en communication orale et écrite en français et en anglais pour différents publics. Une première expérience de stage dans le domaine des plasmas/matériaux en couches minces et/ou caractérisations structurales est attendue.

***Contexte de travail***

Cette thèse est financée dans le cadre du projet PERFORM de l’Agence Nationale de la Recherche (ANR). Le laboratoire hôte où la plupart des travaux de recherche de cette thèse seront effectués est l'Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN, UMR 6502, http://www.cnrs-imn.fr). L'IMN rassemble aujourd'hui plus de 130 chercheurs (chimistes, physiciens, ingénieurs des matériaux du CNRS et de l'Université de Nantes) et constitue l’un des plus grands laboratoires de recherche national en science des matériaux, situé au Nord du centre-ville de Nantes, une ville dynamique et attractive dans l’Ouest de la France. Le laboratoire développe de nouveaux matériaux pour de nombreuses applications et explore les mécanismes chimique et physique à l’échelle nanométrique. Le (La) candidat(e) sera recruté(e) au sein de l’équipe Plasma et Couches Minces (PCM) et travaillera dans la thématique Couches Minces (https://www.cnrs-imn.fr/index.php/themes/couches-minces).

***Financement***

ANR (Agence Nationale de la Recherche) PERFORM (environ 2135€ Brut/mois)

Début de thèse envisagé : 01/10/2024

**Direction de thèse :** Marie-Paule BESLAND (IMN-PCM)

**Co-encadrement:** Jérémy Barbé (IMN-PCM) et Thierry Brousse (IMN-ST2E)

Contact : Jeremy.barbe@cnrs-imn.fr ; marie-paule.besland@cnrs-imn.fr

Adresser un CV détaillé, comportant au moins deux personnes à contacter, une lettre de motivation, un résumé du sujet de Master (1 page max), les notes et classement en Master 1 et 2.